

## Special Issue

Proceedings of the 12th DiNat Forum 2022

Research-Based Report of Practice

# Mit Mikrocontrollern: Dynamische Daten in den Naturwissenschaften – eine SWOT-Analyse

Stephanie Eugster<sup>1</sup>, Fabian Reifler<sup>2</sup>, Mathias Kirf<sup>1</sup>

Received: September 2022 / Accepted: October 2023

## Structured Abstract

**Hintergrund:** Die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken beim Einsatz von Mikrocontrollern zur dynamischen Visualisierung von Daten in den Naturwissenschaften wurden basierend auf Fachliteratur und Beobachtungen im Themenfeld Fotosynthese mittels SWOT-Analyse geordnet.

**Ziel:** Anhand eines beispielhaften Datensatzes zur Fotosynthese werden die besonderen didaktischen Möglichkeiten dynamischer Daten aufgezeigt. Diese beruhen insbesondere darauf, dass mit dynamischen, also zeitlich direkt aufgelösten und sich mindestens teilweise verändernde Daten auch weitere Informationsebenen sowie subjektive Erlebnismöglichkeiten verbunden sind.

**Ergebnisse:** Dynamische Visualisierung können mehr und oft relevantere Informationen liefern als statische Illustrationen, z.B. können naturwissenschaftliche Phänomene mit einer Zeitvorstellung verknüpft werden und Veränderungsraten werden im eigenen Zeitgefühl erlebbar. Ausserdem motivieren dynamische Daten zu Interaktivität. Abstrakte naturwissenschaftliche Phänomene können für Schüler:innen zugänglicher, sichtbarer und insbesondere erlebbarer gemacht werden. Die Interpretation dynamischer Daten kann aber sowohl für Lernende als auch für Lehrende herausfordernd sein. Es besteht das Risiko der Konzentration auf Details der Dynamik, die prägnant aber unwichtig sind, zudem besteht die Gefahr der Missinterpretation aufgrund nicht erkannter Querbeeinflussungen.

**Fazit:** Die Interpretation von dynamischen Daten hat enormes didaktisches Potential. Insbesondere mit dem Voranschreiten der Fähigkeiten von etablierten Mikrocontrollern wie micro:bit und der damit einhergehenden einfacheren Zugänglichkeit durch blockbasierte Programmierung können zusätzliche motivierende Lernmöglichkeiten realisiert werden.

**Keywords:** *Dynamische Daten, Echtzeitdaten, Datenvisualisierung, Fotosynthese, Mikrocontroller, micro:bit*

---

<sup>1</sup>Pädagogische Hochschule St.Gallen, <sup>2</sup>Gewerbliches Berufs- und Weiterbildungszentrum St.Gallen  
✉ mathias.kirf@phsg.ch

## 1 Einleitung

Die wissenschaftliche Annäherung an Lebensprozesse bedingt durch ihre Abstraktion und Dokumentation oft eine statische Darstellung der zugrundeliegenden dynamischen Prozesse. Ursache-Wirkungs-Beziehungen werden als Folge zwar klarer erfassbar, aber weniger erfahrbar.

Durch die gezielte Erzeugung und Auswertung dynamischer Daten soll die Fassbarkeit wissenschaftlicher Erkenntnisprozesse durch Reduzierung abstrakt-statischer zugunsten dynamischer Ursache-Wirkungs-Beziehungen gefördert und so ein erweiterter didaktischer Zugang zu den Naturwissenschaften eröffnet werden.

In verschiedenen Studien (Jo und Ku, 2011; Thornton und Sokoloff, 1990; Svec, 1995) wurde der Einsatz von Echtzeit-Daten vor allem im Kontext der Physik untersucht. Im Kontext der Biologie sind insbesondere Lebensprozesse oft durch zeitliche Veränderungen begleitet, woraus sich speziell hier didaktisch nutzbares Faszinationspotential ergibt. Dieser Beitrag zeigt zunächst exemplarisch im Themenfeld «pflanzliche Lebensprozesse: Fotosynthese» das Potenzial dynamischer Daten auf und betrachtet dieses dann allgemeiner mittels SWOT-Analyse.

## 2 Theoretischer Hintergrund

Der genutzte Begriff «Dynamische Daten» beschreibt in diesem Beitrag die Erfassung und Visualisierung von Datenreihen und damit von Datenereignissen in Echtzeit. Im Kontrast zum Begriff Echtzeit-Daten inkludiert der Begriff dynamische Daten, dass in den zu erfassenden Datenreihen markante Dynamiken, d.h. erlebbare und am besten reproduzierbare Veränderungen der abhängigen Variablen bei Veränderung der unabhängigen Variablen, abgebildet werden können und sollen. Die Daten werden dabei in der Regel hochaufgelöst über Sensoren mittels technisch-digitaler Acquisitions- und Verarbeitungswerkzeuge erfasst und in Echtzeit visualisiert.

Gerade hier haben sich durch die stark verbesserte Verfügbarkeit von erschwinglicher und mit zielstufengerechter Software ansteuerbarer Hardware in den letzten Jahren für Bildungszwecke erhebliche Vereinfachungen und Verbesserungen ergeben. So gibt es eine Vielzahl von kostengünstigen und dennoch überraschend akkuraten analogen und digitalen Sensoren, die mit Microcontroller-Plattformen bzw. Einplatinencomputern wie z.B. Arduino, Calliope, micro:bit oder Raspberry Pi einfach kombiniert und genutzt werden können. Bei den vorrangig für Bildungszwecke mit Kindern und Jugendlichen entwickelten Plattformen wie Calliope und micro:bit wurde eine Auswahl physikalischer Sensoren (z.B. Temperatur-, Licht-, Beschleunigungssensoren) auch direkt eingebaut. Diese moderne Hardware ist in der Regel benutzerfreundlich und in Kombination mit gut dokumentierten Online-Ressourcen dafür ausgelegt, sowohl ohne komplexe technische Kenntnisse als auch ohne anspruchsvolle Software-Fähigkeiten verwendbar zu sein: Die jeweiligen Einstiegshürden zur Anwendung bzw. sogar Programmierung von digitalen Messwerkzeugen konnten damit massiv gesenkt werden.

Sehr interessant ist, dass durch die einfache Programmiermöglichkeit nun nicht nur hochwertige Messwerkzeuge mit potentiell hoher Messdatendichte zur Verfügung stehen. Durch das Einbinden von Aktoren können in Experimenten sehr einfach Feedback-Möglichkeiten zur Veränderung der unabhängigen Variable realisiert werden. Dadurch können einerseits Messreihen mit unterschiedlichen oder aber zur Bestätigung der Messergebnisse auch sich wiederholenden Parameter-Sets einfach automatisiert werden. Andererseits kann diese Automatisierung auch Ereignis-basiert (event-based) programmiert werden, so dass die Änderung der unabhängigen Variable z.B. aufgrund des Erreichens von Schwellenwerten im Verlauf des Experiments ausgelöst werden kann. Je nach Dynamik eines Experiments können so durch eine überlegte Wahl des interessierenden Wertebereichs einerseits grosse Zeitersparnisse realisiert werden, da das Experiment z.B. nur innerhalb der für die Hypothesenüberprüfung gewünschten bzw. relevanten Messbereiche durchgeführt und ein erneuter Experimentierzyklus direkt nach Erreichen vorgegebener Schwellenwerte (Temperaturbereiche, Zielkonzentrationen) automatisch begonnen werden kann. Neben dieser Effizienzsteigerung kann durch die automatische, event-basierte Begrenzung von in z.B. Telexperimenten erreichten Wertebereichen die Analyse und Interpretierbarkeit der Daten und Ergebnisse durch die dadurch vereinfachte direkte Vergleichbarkeit sehr erleichtert werden.

Als Folge können Veränderungen und Trends idealerweise auch ohne aufwendige Datenaufbereitung möglichst direkt aus den dynamischen Echtzeitdaten abgeschätzt werden, da z.B. aufgrund sehr ähnlicher oder sogar identischer Start- bzw. Endwerte die Rahmenbedingungen der Telexperimente bzw. die Skalen der visualisierten Daten durch die Automatisierung vergleichbar gehalten wurden. Zudem kann durch bereits experimentell eingeschränkte Wertebereiche auch eine automatische Auswertung der Daten erleichtert werden. Können also in Experimenten z.B. über Aktoren automatisierte Feedback-Möglichkeiten zur Veränderung der unabhängigen Variablen realisiert werden, erleichtern selbstprogrammierbare Plattformen das gezielte Erzeugen von dynamischen Echtzeitdaten zur Untersuchung sehr.

Im Kontext der Kompetenzentwicklung bezüglich einer Variablenkontrollstrategie VKS (Chen & Klahr, 1999) kann die Nutzung von dynamischen Daten und insbesondere selbst programmierbaren Mess- und Experimentierwerkzeuge besonders sinnvolle und effiziente Zugänge bieten. Die für dynamische Datensätze typischerweise enge und reproduzierbare Kopplung von Änderungen der unabhängigen Variable mit Veränderungen der abhängigen Messgrösse(n) erleichtert nicht nur das Identifizieren kausaler Abhängigkeiten. Die durch die direkte Visualisierung ermöglichte unmittelbare Miterlebbarkeit der Daten-Dynamik erleichtert deren Beschreiben und das Kategorisieren der Abhängigkeit sowohl nach intuitiven zeitlichen (rasch, schnell, direkt, verzögert...) als auch nach intuitiven dynamischen Kriterien (stark steigend, schwach fallend, zunehmend, gedämpft, abgeschwächt, gerade (linear), kurvig (nichtlinear)...), und

dies bereits direkt aus der subjektiven Beobachtung. Im Gegensatz dazu werden (besonders zeitliche) Zusammenhänge aus statischen, z.B. abgedruckten Datenreihen erst durch Analyse, also durch deutlich abstrakteren Transfer in eine eigene Vorstellung, zugänglich. Gerade das reine Datenverständnis übertreffende, komplexere Kompetenzen einer VKS wie z.B. die Überprüfung von Konsistenz, Gültigkeit und Plausibilität erzeugter Datenreihen können daher vom intuitiveren Zugang über dynamische Datensätze profitieren.

Lernsequenzen, die das Programmieren eigener Mess- und Experimentierwerkzeuge zum Versuch unterstützen, können durch Kombination mit Computational Thinking (Shute et al., 2017) zudem einen weiteren, stark strukturierenden Zugang zum Verstehen und Anwenden der Variablenkontrollstrategie bieten - in der zu programmierenden Sequenz sollte die abhängige Variable für die Messung, die unabhängige Variable z.B. zur Ansteuerung als «Event» korrekt identifiziert und festgelegt werden.

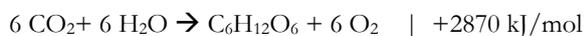
Die in diesem Report gezeigten Daten wurden mit dem Mikrokontroller micro:bit (micro:bit V2, micro:bit Educational Foundation, UK) erzeugt und erfasst, da dieser durch seine visuelle Programmierungsebene auch in schulischen Kontexten die einfache Zugänglichkeit zur Ansteuerung der unabhängigen Variable(n) ermöglicht.

Der didaktische Nutzen von schnell visualisierten Datenreihen im schulischen Kontext ist in der Literatur bekannt. So zeigten z.B. Jo und Ku (2011) in ihrer Studie mit 151 begabten High School-Schüler:innen zur Unterstützung problembasierenden Lernens (PBL) mittels Echtzeit-Daten, dass die Schüler:innen Problemlösungsfähigkeiten, Kreativität und Selbstregulierung entwickeln können, wenn PBL unter Verwendung von Echtzeitdaten konsequent im naturwissenschaftlichen Unterricht eingesetzt wird. In dieser Studie erhielten die Schüler:innen unstrukturierte Probleme, bei denen Echtzeitdaten zur Entwicklung von Hypothesen und Lösungen verwendet werden konnten. Das Interesse an Aufgabensettings dieses Typs war gross. Aber auch bei durchschnittlich begabten Viertklässler:innen konnte gezeigt werden, dass die Verwendung von Echtzeitdaten ihre Fähigkeit zur Interpretation von als Graphen visualisierten Datenreihen steigern liessen (Deniz & Dulger, 2012). In diesen Studien wurde mit Echtzeitdaten gearbeitet, allerdings waren diese nicht durch die Schüler:innen direkt veränderbar. Dabei zeigten bereits Thornton und Sokoloff (1990), das Lernsettings mit der Möglichkeit zur aktiven Manipulation des Experiments und damit zur Variierung der erzeugten Daten die Student:innen dabei unterstützen können, eine aktive Rolle beim Lernen zu übernehmen und sie ermutigt, physikalisches Wissen (auch) aus der eigenen Beobachtung und dem eigenen Untersuchen der physikalischen Welt aufzubauen. Dazu wurden den Student:innen eigens entwickelte und mikrocomputergestützte Laborwerkzeuge zur Verfügung gestellt, mit welcher die Lernenden physikalische Daten in Echtzeit erfassen und grafisch darstellen konnten. Im Vergleich zu Student:innen, welche in regulären Vorlesungen unterrichtet wurden, zeigten sich signifikant bessere Lernleistungen bei den mit Echtzeitdaten arbeitenden Student:innen. Zu vergleichbaren Ergebnissen kam Svec (1995), dessen Lernende in der Interventionsgruppe im Physikunterricht ein Werkzeug zur grafischen Darstellung von Distanzen in Echtzeit nutzen konnten, während die Kontrollgruppe klassisch unterrichtet wurde. Er zeigte, dass das Arbeiten mit Echtzeitdaten bei den Student:innen effektivere konzeptionelle Veränderungen u.a. bei der Interpretation von Diagrammen bewirkte und sich die Wirksamkeit des Unterrichts erhöhte.

Während in verschiedenen Studien der Einsatz von Echtzeit-Daten vor allem im Kontext der Physik untersucht wurde, deren Zusammenhänge oft von klaren mathematisch-physikalischen Regeln profitieren kann, sind z.B. biologische Lebensprozesse deutlich weniger klar ableitbar. Da Lebensprozesse oft durch zeitliche Veränderungen begleitet werden, ergibt sich jedoch gerade hier und insbesondere durch die weniger direkte Fassbarkeit grosses, didaktisch nutzbares Faszinationspotential. Nachfolgend wird dies anhand eines dynamischen Datensatzes aus dem Themenfeld «pflanzliche Lebensprozesse: Fotosynthese» exemplarisch dargelegt und im Anschluss mittels SWOT-Analyse diskutiert.

### 3 Praktische Umsetzung und Daten: Versuch zur Fotosyntheseaktivität

Die Fotosynthese-Gleichung



summiert unterschiedlichste biochemische Prozesse in der Pflanze, um einen klaren Bezug zwischen den Edukten, den Produkten und der stattfindenden Energieumwandlung aufzustellen, der typischerweise auch ein Lernziel bei der Behandlung im Schulkontext darstellt.

Die Verfügbarkeit für den schulischen Gebrauch leicht handhabbarer und kostengünstiger Sensorik ermöglicht es, den Parameter CO<sub>2</sub> sowohl zeitlich als auch quantitativ hochaufgelöst zu messen. Da der CO<sub>2</sub>-Gehalt in frischer Luft im Vergleich mit Sauerstoff sehr gering ist (0.04 % vs. 20 %), kann selbst die begrenzte Fotosyntheseleistung weniger Pflanzen starke Konzentrationsschwankungen bewirken: Ein prozentual ähnliches Signal in der Sauerstoffkonzentration zu erzeugen, würde die 500-fache Fotosyntheseleistung bedingen.

### 3.1 Messaufbau und Erzeugung des Datensatzes

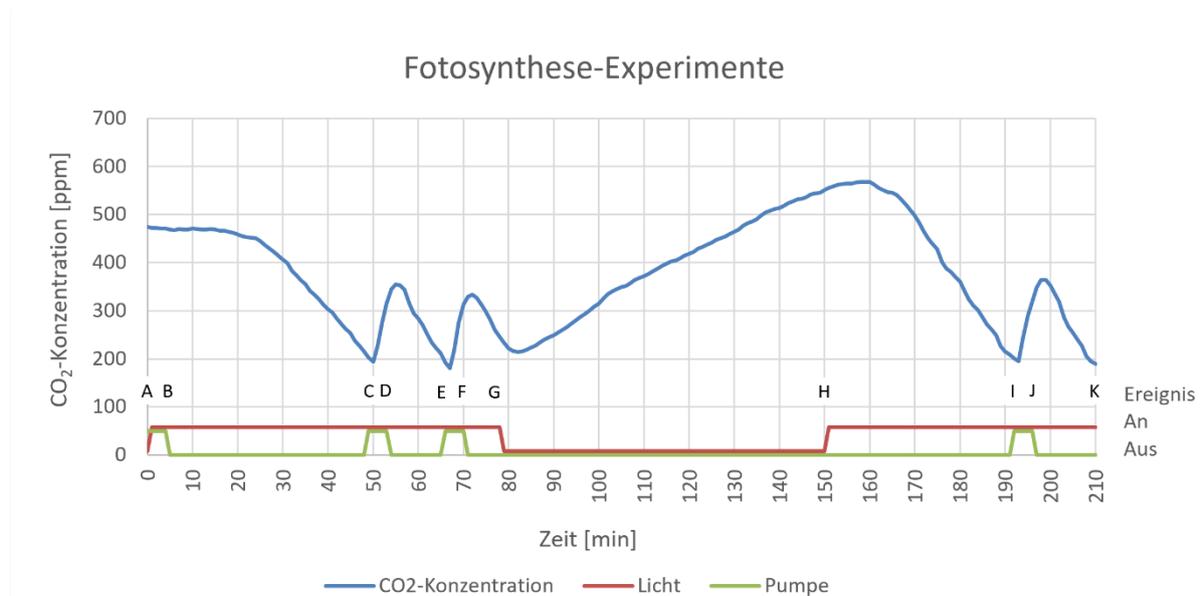


**Abb. 1.** Experimenteller Aufbau im Betrieb (links), graphische Visualisierung der dynamischen CO<sub>2</sub>-Konzentration in Echtzeit (mitte), Details micro:bit und Sensoraufbau (rechts)

Ein typischer Datensatz des Versuchsaufbaus ist in Abb. 2 dargestellt. Er zeigt die mittels CO<sub>2</sub>-Sensor (CO<sub>2</sub>-, Temperatur- und Feuchtigkeitssensor SCD30, Seed Studio, CN; Details zur Datenaquisition in Anhang AH1) und micro:bit (micro:bit V2, micro:bit Educational Foundation, UK) gemessene Veränderung der CO<sub>2</sub>-Konzentration (abhängige Variable) z.B. als Funktion der unabhängigen Variablen Licht, realisiert durch ein per micro:bit ansteuerbares 230V-Schaltrelais (Schaltsau, Smartfeld, CH) mit angeschlossener, nicht dimmbarer Pflanzenbeleuchtung (Plant Light 357-33, 13 W, 1100 LM, Star Trading, SE, Zustände an/aus). Eine Abdunklung war durch Messung in Dunkelheit nicht notwendig – tagsüber z.B. durch Abdecken mit Aluminiumfolie einfach realisierbar. Als Pflanze wurde Cyperus zuzula, (Zyperngras, Katzensgras) verwendet.

Um konsekutive Versuche bei möglichst ähnlichen Ausgangsbedingungen starten zu können und deren Erzeugung möglichst erlebbar zu gestalten, kann die typischerweise CO<sub>2</sub>-ärmere Luft im Experiment mittels über dasselbe Schaltrelais ansteuerbarer Vakuumpumpe abgesaugt und durch dann nachströmende Raumluft ersetzt werden (D2028B Vacuum Pump 12V, SparkFun Electronics, US, Zustände an/aus; Einstrom über Schaumstoffdichtung im Deckelspalt, 1cm Breite x 2mm Höhe, diffusiver Gasaustausch dadurch vernachlässigbar).

Diese bewusst einfache, aber vollständige Technologisierung ermöglicht es nun, die Fotosyntheseaktivität der Pflanze 1) in Licht und in Dunkelheit zu untersuchen und 2) das System durch das Hinzufügen von Raumluft immer wieder mit CO<sub>2</sub> zu versorgen.



**Abb. 2.** Graph zum Versuch «Fotosynthese-Experimente» vom 18. September 2022

### 3.2 Betrachtung der dynamischen Daten

Der exemplarische Datensatz in Abb. 2 wurde nachträglich aus den aufgezeichneten Daten erstellt und umfasst mit 210 Minuten eine mögliche Versuchsspanne, die deutlich über die an Schulen üblichen Stundengefässe hinaus geht. Da das Arbeiten mit dynamischen Daten das subjektive Erleben der Signalveränderung einschliessen soll, sollte mindestens ein Teil dieser Messung durch die Schüler:innen direkt beobachtbar sein (z.B. 40 bis 90 min, Ereignis C-G gemäss Anhang AH1) – die daraus gewonnenen Erfahrungen können dann unmittelbar für die Interpretation nicht direkt beobachteter Versuchsabschnitte genutzt werden (z.B. 0 bis 40 und 90 bis 220 min, Ereignisse A, B sowie H-K). Im Folgenden wird zunächst das System und dann die Dynamik der Daten kurz erläutert – es sollte beachtet werden, dass das subjektive «Erleben» der Signalentwicklung nur ungenügend im Nachhinein beschrieben werden kann.

Im Graph (Abb. 2) ist die aktuelle CO<sub>2</sub>-Konzentration (ppm) über der Zeit (min) für eine exemplarische Messung aufgetragen. Im unteren Bereich ist der Status der Pflanzenlampe (rot) und der Pumpe (grün) abgebildet. Der Versuchsaufbau stand im Dunkeln, abgesehen von wenigen Lichtquellen (Bildschirm, Notbeleuchtung), welche möglichst nicht zur Pflanze hin leuchteten. Im Raum befand sich eine Person. Die Aufzeichnung wurde nach einer 8-stündigen Dunkelphase gestartet, nachdem 10 min zuvor das Gewächshaus verschlossen und über die Pumpe zusätzlich sichergestellt wurde, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Gewächshaus derjenigen in der Raumluft entsprach (ca. 480 ppm, Ereignis A). Das Gewächshaus blieb während des ganzen Versuchs verschlossen und wurde erst nach Versuchsende wieder geöffnet. Es wurde vorgängig ein Versuchsplan erstellt, dieser entspricht dem Versuchsprotokoll in Anhang 1 (AH1). Die Zeit wurde während der Versuchsdurchführung erfasst. Das Ein- und Ausschalten der Pumpe und der Pflanzenlampe erfolgte durch den Messaufbau und wurde geloggt.

**Tab. 1.** Versuchsprotokoll zum Versuch «Fotosyntheseaktivität» vom 18. September 2022

Ereignis	Uhrzeit	Minuten	Pumpe	Licht	Bemerkung
A	17:25 Uhr	0	Ein	Ein	Start Versuch und Einschalten des Lichts
B	17:30 Uhr	5	Aus		
C	18:14 Uhr	49	Ein		CO <sub>2</sub> -Konzentration = 200 ppm: Pumpe wird eingeschaltet
D	18:19 Uhr	54	Aus		Pumpe wird nach 5 min ausgeschaltet
E	18:31 Uhr	66	Ein		CO <sub>2</sub> -Konzentration = 200 ppm: Pumpe wird eingeschaltet
F	18:36 Uhr	71	Aus		Pumpe wird nach 5 min ausgeschaltet
G	18:44 Uhr	79		Aus	CO <sub>2</sub> -Konzentration = 230 ppm: Licht wird ausgeschaltet
H	19:55 Uhr	150		Ein	CO <sub>2</sub> -Konzentration = 550 ppm: Licht wird eingeschaltet
I	20:37 Uhr	192	Ein		CO <sub>2</sub> -Konzentration = 200 ppm: Pumpe wird eingeschaltet
J	20:42 Uhr	197	Aus		Pumpe wird nach 5 min ausgeschaltet
K	20:56 Uhr	211	Aus	Aus	Ende Versuch

*Anmerkung:* Eingesetzter CO<sub>2</sub>-Sensor: Sensirion/SCD30: Technologie: NDIR CO<sub>2</sub>, Aufzeichnungsrate 1 Hz, Daten-gruppierung in 1 min-Intervalle, Durchschnittsberechnung über das Intervall. Reaktionszeit SCD30/CO<sub>2</sub>: 20s, FRC Feldkalibration.

Im ersten Teil des Experiments wurde der Beginn und die Entwicklung der Fotosyntheseaktivität nach Ende der 8-stündigen Dunkelphase untersucht (0 bis 49 Min, Ereignisse A-C). Im Anschluss wurde durch Hinzuführen von Raumluft mit dann höherem CO<sub>2</sub>-Gehalt (ca. 480 ppm) bei noch eingeschalteter Beleuchtung getestet, wie schnell das System auf Störungen reagiert und reproduzierbar gezeigt, dass die vorher beobachtete CO<sub>2</sub>-Abnahme durch Umsetzung von CO<sub>2</sub> im System entsteht und nicht z.B. durch Diffusion von CO<sub>2</sub> aus dem System in die Umgebung (49 bis 79 min, Ereignisse C-G, reproduzierbare Validierung des Systems).

Im zweiten Teil des Experiments wurde nur die unabhängige Variable Licht verändert – in Dunkelheit endete die CO<sub>2</sub>-Abnahme rasch, dann nahm die CO<sub>2</sub>-Konzentration markant und auch deutlich über den Wert der Raumluftkonzentration zu. Nach erneutem Einschalten der Lichtquelle flachte die CO<sub>2</sub>-Freisetzung ab, die die CO<sub>2</sub>-Abnahme anzeigende negative Steigung stabilisierte sich nach ca. 12 min (Ereignisse G – I).

Der dritte Teil des Experiments mit erneuter kurzer Belüftung (Ereignisse I - K) sicherte nochmals, dass sich das Messsystem immer noch den Erwartungen entsprechend verhält, es blieb sensibel gegenüber CO<sub>2</sub>-Konzentrationsveränderungen und zeigte zudem im Abgleich mit dem ersten Versuchsteil reproduzierbare Fotosyntheseaktivität (Ereignisse J - K, Validierung des Systems).

Auffällig ist, dass nach der 8h Dunkelphase die erste Phase der CO<sub>2</sub>-Abnahme (Ereignis B – C, Reaktionszeit ca. 25min bis zu konstanter negativer Steigung) nach Einschalten des Lichts spürbar langsamer startete als in allen nachfolgenden Phasen (Ereignisse D, F, H (ca. 12 min nach Einschalten des Lichts, s.o.), J). Sobald sich die CO<sub>2</sub>-Abnahme aber stabilisierte, war sie in allen Phasen ähnlich schnell.

Das Einschalten der Pumpe (Ereignisse C, E, I) führte immer zu Zunahmen mit markanter, abrupter Änderung der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen («Knicke» im Graphen), die dann ebenfalls in allen Phasen ähnlich schnell stiegen.

Auch nach Ausschalten des Lichts (Ereignis G) nahm die CO<sub>2</sub>-Konzentration konstant zu, jedoch mit deutlich weicherem Übergang und einer klar geringeren Steigung als mit eingeschalteter Pumpe. Weiterhin fällt direkt auf, dass die Steigung der CO<sub>2</sub>-Zunahme in Dunkelheit (Ereignisse G, H) deutlich geringer ist als die Steigung der CO<sub>2</sub>-Abnahme bei eingeschaltetem Licht.

Anhand des die Versuchsteile kontinuierlich verbindenden Graphen lässt sich nun z.B. diskutieren, dass

- während der Fotosynthese (30 bis 40 min, 170 bis 185 min) die kalkulierte CO<sub>2</sub>-Aufnahmerate höher ist als die kalkulierte CO<sub>2</sub>-Freisetzungsrates durch Zellatmung während der Dunkelphase (110 bis 140 min), d.h. dass die Fotosyntheseleistung der Pflanze deren (auch während Hellphasen stattfindenden) Zellatmung deutlich überkompensieren kann.
- die CO<sub>2</sub>-Aufnahmerate über einen breiten CO<sub>2</sub>-Konzentrationsbereich recht konstant bleibt (55 bis 65 min sowie 165 bis 190 min), d.h. dass ein konstantes Gefälle im Fließgleichgewicht besteht und die Fotosyntheseleistung im bisher vermessenen CO<sub>2</sub>-Konzentrationsbereich nicht durch die CO<sub>2</sub>-Verfügbarkeit limitiert zu sein scheint bzw. umgekehrt gedacht: Mit steigender CO<sub>2</sub>-Konzentration / bei Verdopplung zumindest kurzfristig nicht deutlich zuzunehmen scheint.
- die Pflanze nach kurzer Dunkelphase (Ereignis H) deutlich schneller auf das Energieangebot zu reagieren scheint als nach längerer Dunkelheit (Ereignis A), d.h. dass die Pflanze ggf. zunächst «aufwachen» muss, d.h. ihr Fotosynthese-System starten muss (5 bis 30 min), während sie bei kurzen Dunkelphasen deutlich rascher reagieren kann (150 bis 165 min)
- dass reale Lebensprozesse in ihrer Dynamik aufgelöst und beobachtet werden können.

Jedoch ergeben sich bei der direkten Interaktion mit dem Versuch, d.h. mit der Erarbeitung als dynamischer Datensatz solche Vergleiche fast intuitiv, wenn die Veränderungen «mitemlebt» werden können und wenn aus der für die Zu- oder Abnahme von z.B. 20 ppm jeweils benötigten längeren oder kürzeren Zeitspanne ein zunächst «gefühlter» Ratenbegriff formuliert werden kann - Abstrakte Zusammenhänge und Rückschlüsse werden so subjektiv erlebbar und zugänglich, die Dynamik und Abhängigkeiten der Daten konkret spürbar und ggf. auch besser mit eigenen Worten (abrupt, geknickt, weich, rasch, ...) formulierbar - und neue didaktische Zugänge möglich.

### 3.3 Potenzial der Messapparatur

Es gibt einige Schalexperimente, die Schüler:innen helfen können, das Konzept der Fotosynthese besser zu verstehen. Das Luftblasen-Experiment mit einer Wasserpflanze, z.B. einer frisch angeschnittenen Elodea, betont das Fotosynthese-Produkt Sauerstoff und verdeutlicht über das Zählen von (Sauerstoff)-blasen den Zusammenhang zwischen Lichtverfügbarkeit, Sauerstoffproduktion und, bei Anreicherung mit Mineralwasser, CO<sub>2</sub>-Verfügbarkeit. Das Stärkenachweis-Experiment (*Prof. Blumes Tipp Des Monats*, 2019) zeigt auf, dass Pflanzen bei der Fotosynthese Kohlenhydrate wie Stärke herstellen, indem ein Pflanzenblatt nach längerer Dunkelphase und damit lokalem Stärkeabbau mit einem belichteten Pflanzenblatt mittels Stärkenachweis verglichen wird. Über den Einsatz eines pH-Indikators wie Bromthymolblau bei durch Zugabe von Mineralwasser eingestellten leicht sauren Ausgangsbedingungen kann zudem indirekt über die Änderung des pH-Wertes gezeigt werden, dass Wasserpflanzen bei Belichtung aktiv CO<sub>2</sub> aus ihrer wässrigen Umgebung aufnehmen (Metzger, 2020). Jedoch ist allen Ansätzen gemein, dass sie aufgrund der verwendeten indirekten Analysesysteme mit vertretbarem Aufwand bestenfalls halbquantitative Ergebnisse zulassen – und im Zusammenhang mit Veränderungen der zu untersuchenden Variablen keine hohe zeitliche Auflösung erreicht werden kann.

Die Messapparatur hingegen erlaubt es auf eine zugängliche Art und Weise (Visuelle Programmierung des Mikrocontroller micro:bit) verschiedene Ereignisse auszulösen, dazu Hypothesen aufzustellen und zu überprüfen. Dank der Steuerung über den micro:bit können sowohl automatisch ablaufende Versuche zeit- bzw. ereignisbasiert (Feedback) programmiert werden als auch die Parameter «von Hand» verändert werden. Ausserdem können die verschiedenen Variablen einfach und damit in individuellen, z.B. forschend-entdeckenden Experimentieransätzen ausgetauscht und damit z.B. auch Abhängigkeiten im Sinne einer Variablenkontrollstrategie untersucht werden. So kann beispielsweise der Einsatz anderer Lichtquellen auf die Fotosyntheserate untersucht werden. Zudem kann die Messapparatur durch weitere Sensoren ergänzt werden. Dadurch kann beispielsweise untersucht werden, welchen Einfluss Parameter wie die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit oder sogar die Lautstärke auf eine Pflanze haben könnten.

Die Fragestellung, ob bzw. ab wann Pflanzen «schlafen», mag das besondere Potential der für Schüler:innen einfach zugänglichen, durch die Automatisierungsmöglichkeit zeitlich von den kurzen Schulstundengefässen abkoppelbaren Experimentiermöglichkeiten verdeutlichen. Die Frage verdichtet komplexe und abstrakte Zusammenhänge (u.a. den Vergleich des Energieaufwands für ein dauerhaft aktives Fotosynthesesystem vs. des Energieaufwands für den Ab- und Aufbau des Fotosynthesesystems) zu einer Fragestellung, die im explorierenden NT-Unterricht der Sek 1 besondere Motivationsmöglichkeiten bietet: «Schlafen» sonnenverwöhnte Kakteen nach Sonnenaufgang eigentlich länger als im Schatten vegetierendes Moos? Auch die Autor:innen wissen dies (noch) nicht – sind aber bereits darauf sensibilisiert, dass es zur Beantwortung dieser Fragestellung nicht um eine vergleichende Messung der absoluten

Fotosyntheseleistung geht – sondern um einen Reaktionszeitvergleich, der durch entsprechend automatisierte Experimente z.B. mit immer längerer Dunkelphase untersucht werden könnte.

Interessant ist auch, Randbedingungen und Extrema zu untersuchen, zum Beispiel was passiert, wenn das CO<sub>2</sub> im Gewächshaus knapp wird, unter welchen Bedingungen eine CO<sub>2</sub>-Begasung im Gewächshaus zu deutlich höheren Fotosyntheseleistung führen würde oder wie man untersuchen könnte, wie viel CO<sub>2</sub> eine Pflanze in einer Nacht abgibt bzw. an einem Tag aufnimmt.

Das Potential der Messapparatur ist also aufgrund seiner Modularität, Flexibilität und zielstufengerechten Automatisierbarkeit als gross einzuschätzen.

#### **4 Diskussion mittels SWOT-Analyse**

Die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken des Einsatzes von Mikrocontrollern für die dynamische Visualisierung von Daten in den Naturwissenschaften wurden auf der Basis von Fachliteratur und Beobachtungen im Themenfeld Fotosynthese (s.o.) mittels einer SWOT-Analyse geordnet und werden, wo möglich, mit Bezug auf den obigen Datensatz kommentiert.

Die Methode der SWOT-Analyse dient der übersichtlichen Darstellung von Stärken (**S**trengths), Schwächen (**W**eaknesses), Chancen (**O**pportunities) und Risiken (**T**hreats). In der Tabelle 2 sind die Kernaussagen aus den nachfolgenden Unterkapiteln zusammengefasst.

Tab. 2. Kernaussagen der SWOT-Analyse zu dynamischen Daten

<p><b>Stärken – Strengths</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dynamische Visualisierungen bieten mehr und oft relevantere Informationen als statische Illustrationen.</li> <li>• Veränderungsraten werden erlebbar und naturwissenschaftliche Phänomene mit einer subjektiven Zeitvorstellung verknüpft: Dynamische Daten verbessern das Verständnis</li> <li>• Extrem- und Relativwerte in dynamischen Daten können Schüler:innen motivieren.</li> <li>• Die zeitliche Datendynamik bietet zusätzliches Sprachvokabular und erleichtert so die Beschreibung komplexer Prozesse und Ursache-Wirkungs-Beziehungen.</li> <li>• Die Nutzung von Mikrocontrollern zur Datenerfassung spart Zeit, motiviert die aktive Teilnahme an Experimenten und die Überprüfung von Hypothesen.</li> <li>• Das Verständnis für die Sammlung, Analyse und Nutzung von Echtzeitdaten kann auf verschiedene naturwissenschaftliche Experimente übertragen werden.</li> <li>• Das Konzept der Echtzeitdatenverarbeitung hat hohe Relevanz in neuen Technologien wie dem Internet der Dinge (IoT).</li> </ul>	<p><b>Schwächen – Weaknesses</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnelle Prozesse und Veränderungen sind schwer zu beobachten, die üblichen Stärken von Echtzeitdaten könnten ungenutzt bleiben.</li> <li>• Grosse Dynamiken reduzieren die Datenauflösung und betonen Extrema. Mitigation durch adaptive Achsenskalierung erfordert hohe Datenkompetenz.</li> <li>• Dynamische Darstellungen sind nicht immer effektiver als statische Abbildungen, insbesondere die Echtzeit-Interpretation komplexer dynamischer Daten erfordert Vorwissen.</li> <li>• Die Generierung dynamischer Daten erfordert oft mehr experimentelle und apparative Arbeit sowie zusätzliche Investitionen.</li> <li>• Der apparative Aufwand kann zu Problemen wie unzuverlässiger Datenerfassung und mangelnder Genauigkeit führen.</li> <li>• Programmierung, Datenanalyse und Interpretation kann anspruchsvoll sein</li> <li>• Die Unvorhersehbarkeit von Echtzeitdaten kann zu unerwarteten Messergebnissen und Interpretationsschwierigkeiten führen, was die Anforderungen an technisches Know-how und Ressourcen erhöht.</li> </ul>
<p><b>Chancen – Opportunities</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lernsettings mit dynamischen Daten machen abstrakte Naturphänomene erlebbar und können das Interesse an Naturwissenschaft und Technologie fördern.</li> <li>• Die Verwendung von Echtzeitdaten kann die Art der Programme und die Motivation positiv beeinflussen.</li> <li>• Echtzeit-Analyse von Sensor-Daten kann eine intuitivere Verknüpfung mit Umweltveränderungen ermöglichen.</li> <li>• Echtzeitdaten fördern Datenkompetenz, ermöglichen automatisierte Hypothesenüberprüfung und langfristige Messungen mit erlebten Dynamiken.</li> <li>• Echtzeitdaten können selbstgesteuertes Lernen und Problemlösefähigkeiten fördern.</li> <li>• Moderne Technologien ermöglichen kollaboratives Arbeiten und gemeinsames Lernen.</li> <li>• Kreatives Arbeiten und kreative Programmierung werden in MINT-Berufen geschätzt und gefördert.</li> </ul>	<p><b>Risiken – Threats</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Das sichere Identifizieren der relevanten Datenmerkmale und Dynamiken für ein vertieftes Verständnis der Phänomene ist herausfordernd.</li> <li>• Falsche Fokussierung auf Details oder auf die Faszination der Dynamik anstatt auf den Inhalt kann klare Erkenntnisse verhindern.</li> <li>• Komplexe Abhängigkeiten und unerkannte Einflüsse können Messungen beeinflussen und die Glaubwürdigkeit der Daten beeinträchtigen.</li> <li>• Live-Messungen sind anfällig für Ausfälle.</li> <li>• Datenschutz- und Datensicherheitsrisiken bei der Datensammlung erfordern klare Richtlinien zum Schutz der Privatsphäre</li> </ul>

#### 4.1 Stärken – Strengths

Dynamische Visualisierung können mehr und oft relevantere Informationen liefern als statische Illustrationen, z.B. werden Veränderungsraten auch im eigenen Zeitgefühl erlebbar und naturwissenschaftliche Phänomene können mit einer subjektiven Zeitvorstellung verknüpft werden. Auch Extrema können noch «überraschen», da sie erst während der Messung entstehen, also im Gegensatz zu einem bereits vollständig vorliegenden statischen Graphen anfangs nicht sichtbar sind. Im Datensatz entspräche dies z.B. der Betrachtung der Fotosynthese- und Atmungsraten sowie der Frage, ob die Pflanze den CO<sub>2</sub>-Gehalt sogar auf null bringen könnte.

Untersuchungen von solchen Extrema (tiefste, höchste, steilste) und Relativa (weniger, mehr, früher, steiler) stellen nicht nur klassische Elemente der explorativen naturwissenschaftlichen Annäherung an Phänomene und der Analyse von Datensätze dar, sondern sind zudem für Schüler:innen im allgemeinen als interessante Punkte gut identifizierbar und, noch wichtiger, gut formulierbar (tiefste, höchste, schnellste). Sie bieten so Anknüpfungs-; Diskussions- und Motivationspotential, diese durch Änderung der Experimentierbedingungen zu erzeugen bzw. zu erreichen und damit zu untersuchen. Die zeitliche Datendynamik hingegen erleichtert, komplexe Prozessverläufe durch intuitivere Kategorien (schneller, langsamer, stärker, schwächer) besser zu artikulieren. Im Datensatz entspräche dies dem deskriptiven Verlauf (steigt schneller oder langsamer) des eigentlich benötigten Umsatzratenbegriffs. Darüber hinaus können dynamische Ursache-Wirkungs-Beziehungen ein besseres konzeptionelles und prozedurales Verständnis fördern und eine höhere Aufmerksamkeit motivieren (Ryoo & Linn, 2014). Denn schnelles Antwortverhalten und direkt interpretierbares Feedback motivieren zur Manipulation der unabhängigen Variablen und erleichtern die Identifikation von Abhängigkeiten erheblich (Thornton & Sokoloff, 1990). Bei der experimentellen Umsetzung kann dann als potenter Faszinator für die Anwendung von Technik in naturwissenschaftlichen Fragestellungen erlebt und vermittelt werden, dass Sensorik hier als Sinneserweiterung fungiert und sonst nicht direkt beobachtbare Phänomene auch in ihrer Dynamik erlebbar macht (Gendreau Chakarov et al., 2020; Ryoo & Linn, 2012).

Konkreter ist der Vorteil, dass selbst sehr komplexe Konzepte wie z.B. Umsetzungsraten, durch die den dynamischen Daten innewohnende Kopplung mit dem subjektiven Zeitgefühl begreifbarer und besser mit Alltagsvorstellungen verknüpft werden können. Das Phänomen zu visualisieren kann sogar helfen, den abstrakten Charakter des Phänomens zu beseitigen (Suyatna et al., 2017; Wilhelm, 2005). Insbesondere durch die Kombination mehrerer unterschiedlicher Sensoren können dabei nicht nur der zeitliche Verlauf einer einzigen Grösse, sondern auch direkte oder indirekte Beziehungen zwischen den verschiedenen Grössen deutlich gemacht werden.

Gegenüber herkömmlichen Methoden spart die Datenerfassung mittels Mikrokontrollern (nach einer zeitlichen Investitionsphase) Zeit, denn Routinen können automatisiert und Schwierigkeiten und Fehler bei der Messung reduziert werden (Deniz & Dulger, 2012; Suriyaarachchi et al., 2022b). Die Schüler:innen verbringen so mehr Zeit mit der Beobachtung, Reflexion und Diskussion (Rogers, 1995). Da sie die Datenaquisition und Experimente selbst programmieren, können die Schüler:innen eine aktive Rolle einnehmen und selbst experimentieren, was zu «doing science» anstatt «hearing about science» (Trumper & Gelbman, 2002) führt. Die Echtzeitdarstellung ermöglicht den Schüler:innen, dabei fortlaufend eigene Hypothesen zu machen und diese selbstständig zu überprüfen (Suyatna et al., 2017). Jo & Ku (2011) zeigten in einer Studie mit 150 begabten Schüler:innen, dass dadurch im Kontext mit PBL die Kreativität, die Häufigkeit von Diskussionen und das Interesse signifikant zunimmt, was insgesamt ein vertieftes konzeptionelles Verständnis unterstützt (Deniz & Dulger, 2012; Suyatna et al., 2017).

Neben dem besseren Verständnis naturwissenschaftlicher Zusammenhänge anhand von dynamischen Daten ist aber auch der umgekehrte Weg interessant. Die Konzepte hinter der Akquise, Analyse und Nutzung von Echtzeitdaten lassen sich gut an naturwissenschaftlichen Experimenten schulen, da sie leicht auf verschiedenste Experimente übertragbar sind (Grillenberger & Romeike, 2017). Und im Zusammenhang mit Zukunftstechnologien wie Internet of Things (IoT), Smart-Home-Umgebungen oder Autonomen Fahren gewinnt das konzeptuelle Verständnis der Fähigkeiten und Limitierungen von mit Sensoren erzeugten Echtzeitdaten eine besonders aktuelle Relevanz.

## 4.2 Schwächen – Weaknesses

Schwächen ergeben sich zum einen aus der Charakteristik von Echtzeitdaten, dass bei schnellen Prozessen und Veränderungen die Datenentwicklung nicht immer in Ruhe beobachtet werden kann und die sonst typischen Stärken nicht mehr genutzt werden können. Zum anderen kann die Visualisierung grosser Dynamiken die Datenauflösung reduzieren, was zu einer Überbetonung von Extrema führen kann. Der Einsatz von adaptiven Achsenkalibrierungen, die diese Problematik reduzieren könnten, setzt wiederum eine hohe Datenkompetenz auf Seiten der Lernenden voraus. Auch sind dynamische Darstellungen nicht in jedem Kontext effektiver als statische Abbildungen, insbesondere die unmittelbare Interpretation komplexer dynamischer Datenverläufe (z.B. Nichtlinearitäten), die für die Verknüpfung mit einem Zeitgefühl notwendig ist, erfordert schnell ein hohes Mass an Vorwissen (Ryoo & Linn, 2012).

Darüber hinaus ist die Generierung dynamischer Daten in der Regel mit einem höheren experimentellen und apparativen Aufwand und damit mit Zusatzinvestitionen verbunden. Der apparative Aufwand kann wiederum zu potenziellen Problemen wie mangelnder Zuverlässigkeit der Datenerfassung oder Genauigkeit der Messung führen. Auch eine schlechte Qualität der Sensoren oder eine fehlerhafte Kalibrierung können die Nutzbarkeit der Daten einschränken oder sogar zu falschen Interpretationen führen. Diese potenziellen Probleme erhöhen die Anforderungen an das technische Know-how und die technischen Ressourcen für die Programmierung und Konfiguration der Mikrocontroller und Sensoren. Je nach Ausstattung können auch die Kosten für einige Schulen eine Herausforderung darstellen.

Auf Seiten der Schüler:innen ergeben sich Schwächen bei der möglichen Komplexität der Programmierung, Datenanalyse und Interpretation. Dies gilt insbesondere, wenn grosse Datenmengen erzeugt und analysiert werden sollen. Gerade zu Beginn, wenn die Schüler:innen noch unerfahren in der Verwendung von Mikrocontrollern sind, müssen sie zudem durch verschiedene und oft sehr zeitaufwändige Prozeduren wie das Verbinden mit dem Computer begleitet werden (Suriyaarachchi et al., 2022a). Schwierigkeiten bei der Programmierung können ausserdem zu Frustration bei den Schüler:innen führen (Suriyaarachchi et al., 2022b). Schliesslich kann die den Echtzeitdaten inherente Unvorhersehbarkeit zu unerwarteten Messergebnissen und spontanen Interpretationsschwierigkeiten führen.

### 4.3 Chancen – Opportunities

Viele Chancen von Lernsettings mit dynamischen Daten zeigen sich bereits am Beispiel des Datensatzes zur Fotosynthese: Abstrakte naturwissenschaftliche Phänomene können für Schüler:innen zugänglicher, sichtbarer und insbesondere erlebbarer gemacht werden (Suyatna et al., 2017; Wilhelm, 2005). Durch die Verwendung moderner Technologien und praktischer Anwendungen kann das Interesse sowie die Begeisterung der Schüler:innen an Naturwissenschaft und Technologie gefördert werden (Jo & Ku, 2011).

Die Möglichkeit, Daten aus der realen Welt als Echtzeit-Input in Programmen zu nutzen, so dass Programme auf Veränderungen in der physischen Umwelt reagieren, kann dabei die Art der Programme sowie die Motivation und das Interesse der Schüler:innen am Programmieren positiv beeinflussen (Pappas et al., 2022; Suriyaarachchi et al., 2022a; Suriyaarachchi et al., 2022b). Suriyaarachchi et al. (2022a) beschreiben zudem, dass durch direkte, qualitative Echtzeit-Analyse der Sensor-Daten eine noch intuitivere Verknüpfung mit Umweltveränderungen ermöglicht werden kann.

Weitere Chancen liegen in der Erhöhung der Datenkompetenz für reale Daten durch das in Echtzeitdaten aufgrund der begrenzten Dämpfung häufig beobachtbare reale Rauschen (Noise). Zudem können digitalisierte dynamische Daten für Auslöse- und Steuerungsprozesse genutzt werden, sodass komplexere oder längere Versuchsreihen zur Hypothesenüberprüfung auch von Schüler:innen automatisiert und über die üblichen Stundengefäße zeitlich ausgedehnt werden können. Die Analyse solcher Langzeitmessungen profitiert dann sehr davon, dass typische Segmente des Graphen mit zuvor selbst erlebten Dynamiken verknüpft werden können (Deniz & Dulger, 2012; Suriyaarachchi et al., 2022b).

Neben der Entwicklung von Datenanalyse- und Programmierfähigkeiten, die für die Zukunft relevant sein können, können solche Lernsettings mit realen Daten und Messungen in Echtzeit auch selbstgesteuertes Lernen und Problemlösefähigkeiten fördern (Jo & Ku, 2011).

Der Einsatz moderner Technologien bietet die Möglichkeit für gemeinsames Lernen und kollaboratives Arbeiten. Suriyaarachchi et al. (2022b) konnten in ihrer Untersuchung beobachten, dass Schüler:innen bei der Lösung von Programmierproblemen oft die Hilfe ihrer Mitschüler:innen suchten, anstatt sofort die Lehrperson um Hilfe zu bitten. Ausserdem hatten sie Spass daran, ihre Arbeit und ihre Ideen ihren Freund:innen zu präsentieren. Durch die einfache Programmierbarkeit der Sensoren überlegten sich die Schüler:innen, was sie mit den Sensoren messen und steuern können. Dabei tauschten sie sich untereinander aus. Dies wurde auch von den Lehrer:innen beobachtet (Suriyaarachchi et al., 2022b). Zudem wird eine weitere wichtige Prämisse naturwissenschaftlichen Erkenntnisdrangs didaktisch zugänglich: Da (auch) in der Zukunft durch fortgeschrittenere Sensorik und weiter vereinfachte Programmierung neue technische Möglichkeiten entstehen werden, können durch die Kombination von interessanten Fragestellungen und kreativer Technikanwendung vertiefte und sogar neuartige Erkenntnisse erwartet werden.

Nicht zuletzt kann kreatives und kollaboratives Arbeiten zu einem veränderten Bild von MINT-Berufen führen. Darauf deuten zumindest die Antworten der Schüler:innen in einer Studie von Suriyaarachchi et al. (2022a) hin, wonach Programmierer:innen als kreative Menschen angesehen werden und es wichtig ist, beim Programmieren kreativ zu sein.

### 4.4 Risiken – Threats

Sowohl für die Lehrenden als auch für die Lernenden besteht eine erhöhte Herausforderung darin, abzuschätzen, welche Eigenschaften der Daten bzw. ob die Dynamiken für ein tieferes Verständnis des betrachteten Phänomens von Bedeutung sind. So ist z.B. bei der Interpretation der Fotosynthese zu beachten, dass der CO<sub>2</sub>-Anstieg in Dunkelphasen auch fast ausschliesslich von heterotrophen Organismen stammen könnte und sicherlich nicht ausschliesslich die Zellatmung autotropher Organismen darstellt. Eine ähnliche Gefahr besteht in der falschen Konzentration auf Details der Dynamik, die zwar prägnant, aber unwichtig sind, z.B. Fokussierung auf Ausreisser oder Störungen. Ebenso wenig hilfreich ist es, sich eher auf die Faszination der Dynamik als auf den Inhalt der Daten zu konzentrieren. Komplexe Abhängigkeiten der Messung, z.B. von Temperaturverläufen oder Nichtlinearitäten bei Messungen in der Gasphase, können Zusammenhänge verdecken und verfälschen, während unerkannte Querbeeinflussungen oder unerwartete, dann aber dauerhaft unverstandene Ereignisse das Risiko von Scheinmessungen erhöhen, was zu einer Entwertung der Glaubwürdigkeit der (selbst)erzeugten Daten führen kann. Darüber hinaus ist für jedes Lernsetting zu beachten, dass Live-Messungen immer mit einer Ausfallwahrscheinlichkeit behaftet sind, die statischen Materialien und konservativen Stundenplanungen nicht inhärent ist (Ryoo & Linn, 2012, 2014; Zhang & Linn, 2011).

Die Sammlung von Daten birgt zudem auch Datenschutz- und Datensicherheitsrisiken, wenn Schüler:innen persönliche oder vertrauliche Daten sammeln. Schulen und Lehrkräfte sollten daher klare Richtlinien und Verfahren haben, um die Privatsphäre und die individuellen Rechte der Schüler:innen zu schützen.

## 5 Lehrpersonenbefragung

Neben der literaturgestützten SWOT-Analyse wurde eine qualitative Befragung von drei Lehrpersonen der Sekundarstufe I durchgeführt, die im Folgenden zusammengefasst wird. Zu Beginn wurde den Lehrpersonen das oben beschriebene Messinstrument vorgestellt und erklärt. Anschliessend wurde im Beisein der Lehrpersonen ein Fotosyntheseexperiment analog zu Abbildung 2 durchgeführt. Die Lehrpersonen konnten in ihrer Beobachterrolle sowohl die

Steuerung (z.B. das Ein- und Ausschalten des Lichtes) als auch die graphische Darstellung der CO<sub>2</sub>-Konzentration beobachten. Währenddessen wurden sie gebeten, die Interviewfragen schriftlich zu beantworten.

Alle Befragten beschreiben das Erleben der dynamischen Echtzeitdaten der Fotosyntheseaktivität als interessant und spannender als erwartet. Als Grund dafür wird von einer Person die Möglichkeit genannt, «unsichtbare» Prozesse verfolgen zu können. Die befragten Lehrpersonen gingen aufgrund ihres Vorwissens mit einer gewissen Erwartungshaltung in das Experiment. Als die CO<sub>2</sub>-Konzentration bei Licht nicht sofort abnimmt, wird das Vorwissen von einer befragten Person in Frage gestellt, was auch die Spannung für den weiteren Datenverlauf erhöht. Als dann nach einiger Zeit die CO<sub>2</sub>-Konzentration doch sinkt und damit die eigenen Erwartungen bestätigt werden, wirkt das beruhigend. Die Freude darüber, dass die auf Vorwissen basierenden Erwartungen bestätigt werden, steigt. Zwei der Befragten waren auch überrascht, wie schnell sich die CO<sub>2</sub>-Konzentration ändert. Für sie war es auch spannend zu verfolgen, wie die CO<sub>2</sub>-Konzentration deutlich unter den Anfangswert fällt und ob die Abnahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration irgendwann stagniert. Eine Person berichtete, dass sie bereits während des Experiments mit der Analyse bzw. Interpretation der Daten begonnen habe, obwohl das Experiment noch nicht vollständig abgeschlossen war.

Beim Vergleich von dynamischen und statischen Diagrammen gaben die Befragten an, dass bei statischen Diagrammen die gesamte Interpretation auf einmal erfolgt und die Daten einfach akzeptiert werden. Im Gegensatz dazu ermöglichen die dynamischen Daten einen Spannungsaufbau. Ausserdem kann mit den dynamischen Echtzeitdaten ein direkter Bezug zum realen Experiment hergestellt werden.

Durch das Experiment mit den dynamischen Echtzeitdaten der Fotosyntheseaktivität der Pflanze konnten die Befragten ihr auf Vorwissen basierendes Verständnis von Fotosynthese und Zellatmung bestätigen bzw. festigen. Zwei befragte Lehrkräfte gaben darüber hinaus an, durch das Experiment neue Erkenntnisse gewonnen zu haben. So war ihnen vorher nicht klar, wie lange es dauert, bis die Fotosynthese nach dem Einschalten des Lichts «anspringt». Ausserdem merkte eine Person an, dass die Angabe in ppm hilft, die Dimension der Fotosynthese besser einzuschätzen. Alle drei Befragten halten den Einsatz dynamischer Daten im Unterricht grundsätzlich für interessant und sinnvoll. Die dynamische Darstellung erlaubt sowohl das Beobachten als auch das aktive Mitdenken der Schüler:innen. Allerdings sind die befragten Lehrpersonen auch kritisch und sehen vor allem die mangelnde Geduld oder Aufmerksamkeitsspanne der Schüler:innen als ein mögliches Problem. Wenn die Schüler:innen während des Experiments andere Aufgaben bearbeiten, können die Veränderungen nicht direkt beobachtet werden und der dynamische Graph wird so ebenfalls zu einem statischen Bild. Eine befragte Person ist auch der Meinung, dass die Schüler:innen im Allgemeinen durch Grafiken abgeschreckt werden.

Zusammenfassend fanden die Befragten das Experiment interessant und spannender als erwartet, wobei eine Person die Möglichkeit erwähnte, "unsichtbare" Prozesse beobachten zu können. Das Experiment forderte ihr Vorwissen heraus und die Bestätigung ihrer Erwartungen war zufriedenstellend. Im Gegensatz zu statischen Diagrammen sorgten dynamische Daten für Spannung und einen direkten Bezug zum realen Experiment. Der Einsatz von dynamischen Daten im Unterricht wurde von den befragten Lehrpersonen grundsätzlich als sinnvoll und interessant empfunden, aber die mangelnde Geduld und Aufmerksamkeitsspanne der Schüler:innen wurde als mögliches Problem gesehen.

## 6 Umsetzung und Fazit

Für die konkrete Umsetzung der Arbeit mit Echtzeitdaten haben Thornton und Sokoloff (1990) bereits Anforderungen formuliert, die auch heute noch grundsätzlich für den Einsatz solcher Lernwerkzeuge gelten, wie z.B. (1) Befreiung von zeitintensiven Datenerhebungs- und Visualisierungsprozessen, (2) Datenpräsentation in Echtzeit, um unmittelbares Feedback über den Einfluss von Veränderungen zu ermöglichen, (3) konsequente Nutzung der durch den Verzicht auf manuelle Datenpräsentation freiwerdenden Zeit für mehr und variierende Experimente pro Lektion, (4) Versatilität und generelle Nutzungsfreiheit der eingesetzten technischen und digitalen Werkzeuge, um den Fokus auf das Experimentieren zu legen und keine Zeit für das Erlernen unnötig anspruchsvoller Messwerkzeuge oder unterschiedlicher Software aufwenden zu müssen.

Auch die Erzeugung und Interpretation dynamischer Daten profitiert von diesen Rahmenbedingungen und bietet dann ein enormes didaktisches Potenzial. Insbesondere mit der Weiterentwicklung der Fähigkeiten von etablierten Mikrocontrollern wie micro:bit und der damit einhergehenden einfacheren Zugänglichkeit durch blockbasierte Programmierung können zusätzliche motivierende Lernmöglichkeiten realisiert werden. Dynamische Daten können nun z.B. auch für Trigger- und Steuerungsvorgänge genutzt werden. Der apparative Aufwand ist zwar nach wie vor höher, erscheint aber aufgrund der dann erlebbaren dynamischen Wirkungszusammenhänge und des daraus oft resultierenden besseren konzeptionellen und prozeduralen Verständnisses oft gerechtfertigt.

Die Befragung von drei Lehrer:innen hat angedeutet, dass sie den Einsatz von dynamischen Daten im Unterricht als interessant und sinnvoll erachten. Problematisch könnte ihrer Einschätzung nach die mangelnde Geduld und Aufnahmefähigkeit der Schüler:innen sein. Diese Gefahr kann durch eine didaktisch geschickte Einbindung und die Möglichkeit der Selbstprogrammierung der Experimente aufgrund der einfachen Programmierbarkeit der Mikrocontroller verringert werden.

Die Etablierung des Einsatzes dynamischer Daten im Unterricht wird daher von der Zugänglichkeit und Handhabbarkeit für Lehrende und Lernende sowie von der thematischen und didaktischen Einbettung in den Unterricht abhängen. Das Potenzial dynamischer Daten, insbesondere zur Darstellung biochemischer Lebensprozesse, sollte daher weiter untersucht und die Zugänglichkeit weiter vereinfacht werden.

## Danksagung

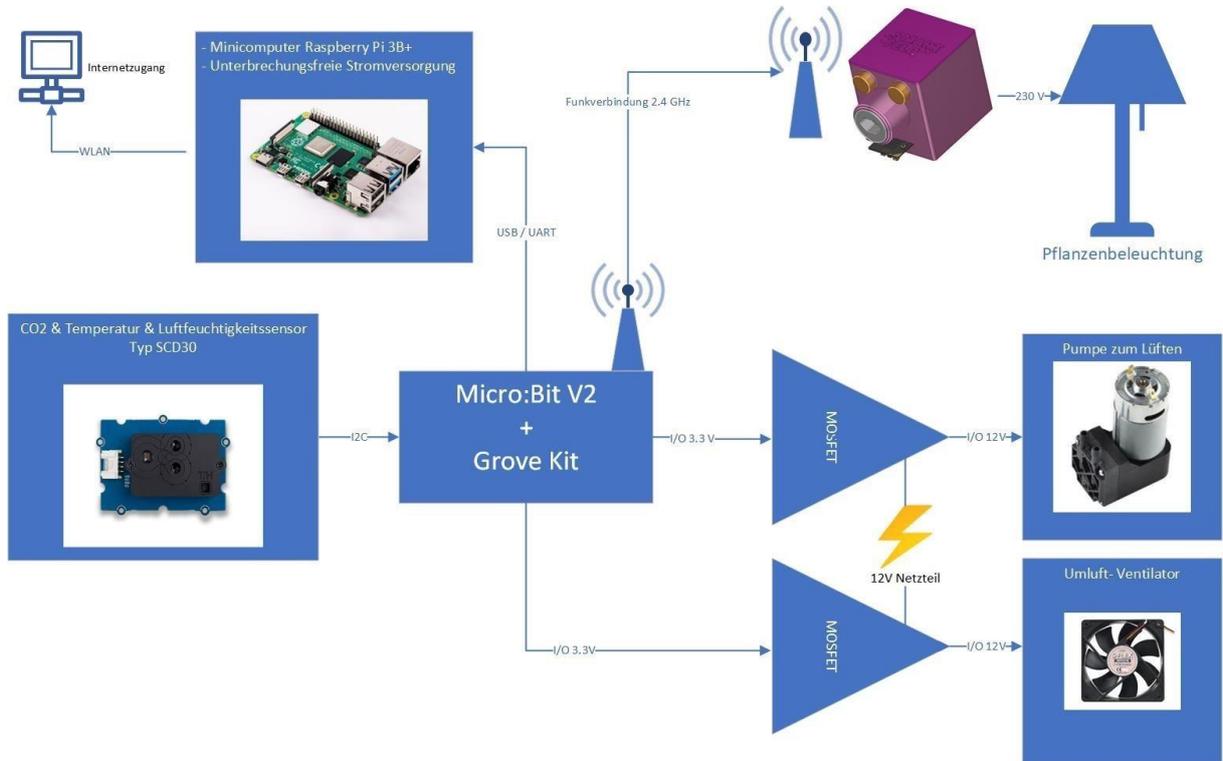
Die Autoren bedanken sich herzlich bei allen Beteiligten für Ihre Unterstützung dieses Projektes; insbesondere bei Martin Amberg und Danilo Just für die technologische Beratung und das Feedback sowie Cornelia Gut, dem Bildungsverbund Smartfeld und der PHSG für die Ermöglichung dieses Projektes.

## Literaturverzeichnis

- Chen, Z. & Klahr, D. (1999). All other things being equal: acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child development*, 70(5), 1098–1120. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00081>
- Deniz, H. & Dulger, M. F. (2012). Supporting Fourth Graders' Ability to Interpret Graphs Through Real-Time Graphing Technology: A Preliminary Study. *Journal of Science Education and Technology*, 21(6), 652–660. <https://doi.org/10.1007/s10956-011-9354-8>
- Gendreau Chakarov, A., Biddy, Q., Jacobs, J., Recker, M. & Sumner, T. (2020). Opening the Black Box: Investigating Student Understanding of Data Displays Using Programmable Sensor Technology. In *Proceedings of the 2020 ACM Conference on International Computing Education Research* (S. 291–301). <https://doi.org/10.1145/3372782.3406268>
- Grillenberger, A. & Romeike, R. (2017). Real-Time Data Analyses in Secondary Schools Using a Block-Based Programming Language. In *Informatics in Schools: Focus on Learning Programming: 10th International Conference on Informatics in Schools: Situation, Ecolutione, and Perspectives, ISSEP 2017, Helsinki, Finland, November 12-15, 2017, Proceedings 10* (S. 207–218).
- Jo, S. & Ku, J.-O. (2011). Problem Based Learning Using Real-Time Data in Science Education for the Gifted. *Gifted Education International*, 27(3), 263–273. <https://doi.org/10.1177/026142941102700304>
- Metzger, S. (2020). *NaTech 8: AM 4.12* (1. Auflage). Schulverlag plus.
- Pappas, G., Siegel, J., Vogiatzakis, I. N. & Politopoulos, K. (2022). Gamification and the Internet of Things in Education. In M. Ivanovic, A. Klasnja-Milicevic & L. C. Jain (Hrsg.), *Handbook on Intelligent Techniques in the Educational Process* (29. Aufl., S. 317–339). Springer.
- Prof. Blumes Tipp des Monats. (2019, 30. Dezember). [https://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/10\\_02.htm](https://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/10_02.htm)
- Rogers, L. T. (1995). The computer as an aid for exploring graphs. *School Science Review*(76), 31. <http://www.insightresources.co.uk/files/exploring%20graphs.pdf>
- Ryoo, K. & Linn, M. C. (2012). Can dynamic visualizations improve middle school students' understanding of energy in photosynthesis? *Journal of Research in Science Teaching*, 49(2), 218–243. <https://doi.org/10.1002/tea.21003>
- Ryoo, K. & Linn, M. C. (2014). Designing guidance for interpreting dynamic visualizations: Generating versus reading explanations. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(2), 147–174. <https://doi.org/10.1002/tea.21128>
- Shute, V. J., Sun, C. & Asbell-Clarke, J. (2017). Demystifying computational thinking. *Educational Research Review*, 22, 142–158. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.09.003>
- Suriyaarachchi, H., Denny, P., Cortes, J. P. F., Weerasinghe, C. & Nanayakkara, S. (2022a). Primary School Students Programming with Real-Time Environmental Sensor Data. In *Australasian Computing Education Conference* (85.94). ACM.
- Suriyaarachchi, H., Denny, P. & Nanayakkara, S. (2022b). Scratch and Sense: Using Real-Time Sensor Data to Motivate Students Learning Scratch. In *Proceedings of the 53rd ACM 2022 Technical Symposium on Computer Science Education*.
- Suyatna, A., Anggraini, D., Agustina, D. & Widyastuti, D. (2017). The role of visual representation in physics learning: dynamic versus static visualization. *Journal of Physics: Conference Series*, 909, 12048. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/909/1/012048>
- Svec, M. T. (1995). Effect of Micro-Computer Based Laboratory on Graphing Interpretation Skills and Understanding of Motion. <https://eric.ed.gov/?id=ed383551>
- Thornton, R. K. & Sokoloff, D. R. (1990). Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools. *American Journal of Physics*, 58(9), 858–867.
- Trumper, R. & Gelbman, M. (2002). What Are Microcomputer-Based Laboratories (MBLs) for? An Example from Introductory Kinematics. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 21(3), 207–227. <https://www.learntechlib.org/p/9263/>
- Wilhelm, T. (2005). Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schüler-vorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und ... <https://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/frontdoor/index/index/docid/3310>
- Zhang, Z. H. & Linn, M. C. (2011). Can generating representations enhance learning with dynamic visualizations? *Journal of Research in Science Teaching*, 48(10), 1177–1198.

## Anhang

### Anhang 1: Mess- und Steuerungskonzept Fotosynthese-Experiments



Anhang 2: Mögliches Messprogramm (Software)

```

beim Start
  setze Funkgruppe auf 58
  setze time auf 1000
  sende Wertepaar "time" und time über Funk
  setze Sendeleistung auf 7

wenn Knopf B geklickt
  sende Text "pump-off" über Funk
  sende Text "fan-off" über Funk
  sende Text "light-off" über Funk

wenn Knopf A geklickt
  sende Text "pump-on" über Funk
  pausiere (ms) 5 x 1000 x 60
  sende Text "pump-off" über Funk
  pausiere (ms) 100
  sende Text "fan-on" über Funk
  pausiere (ms) 100
  sende Text "fan-off" über Funk
  pausiere (ms) 100
  sende Text "light-on" über Funk
  pausiere (ms) 20 x 1000 x 60
  sende Text "light-off" über Funk
  pausiere (ms) 10 x 1000 x 60
  
```

Anhang 3: Fernbedienung zur manuellen Steuerung des Fotosynthese-Experiments über einen zweiten micro:bit (Software)

```

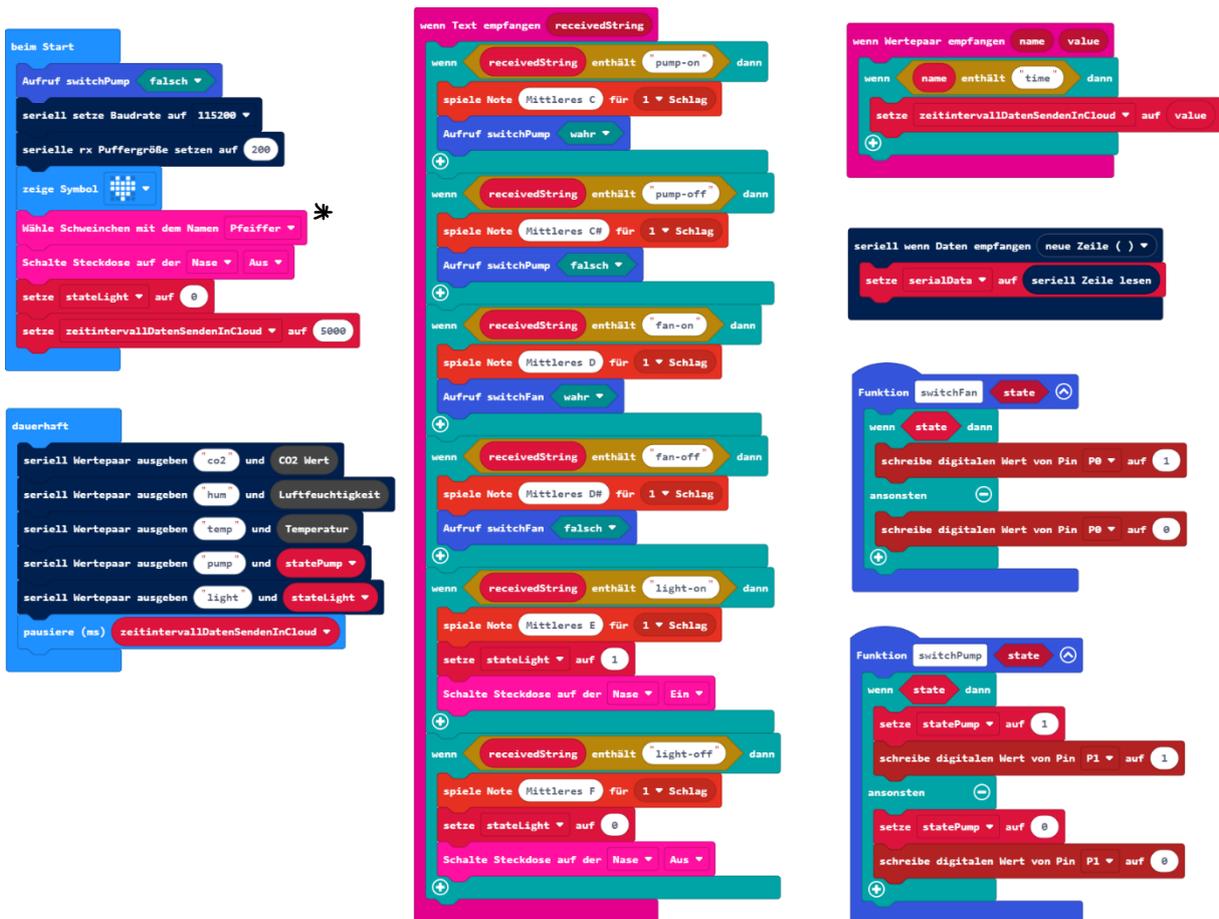
beim Start
  setze Funkgruppe auf 58
  setze time auf 1000
  sende Wertepaar "time" und time über Funk
  setze Sendeleistung auf 7

wenn Knopf A geklickt
  sende Text "pump-on" über Funk

wenn Knopf B geklickt
  sende Text "light-on" über Funk

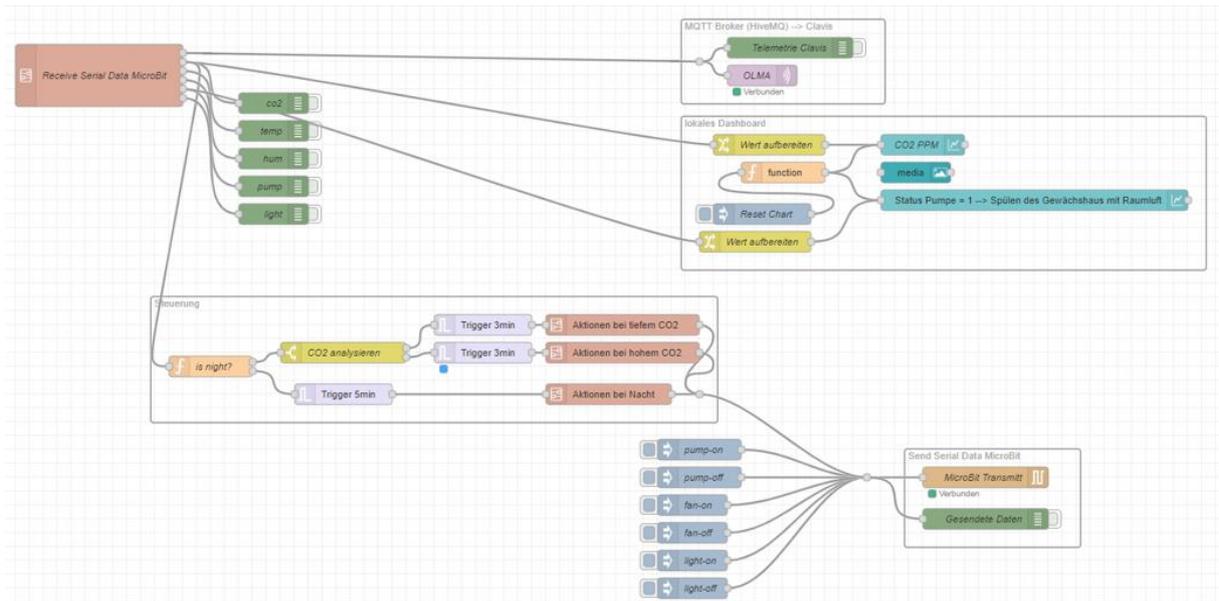
wenn Knopf A+B geklickt
  sende Text "pump-off" über Funk
  sende Text "fan-off" über Funk
  sende Text "light-off" über Funk
  
```

Anhang 4: Steuerung des micro:bit (Software)



\* Das Schalt-Schweinchen ist ein selbst entwickeltes Lastrelais, um 230 V Endgeräte wie z.B. eine Pflanzenlampe mit dem micro:bit (5 V) unkompliziert anzusteuern (siehe auch rosa Objekt in Abb. 1, links). Über Funk wird ein zweiter micro:bit im Schweinchen angesteuert und so z. B. das Licht ein- und ausgeschaltet. Zur leichten Einbindung wurden Makecode-Blöcke basierend auf den standardmässig vorhandenen Funk-Blöcken gestaltet.

Anhang 5: Steuerung des RaspberryPi (Software)



## Anhang 6: Befragung Lehrpersonen

Hinweis: Die Fragen wurden von den befragten Lehrpersonen direkt schriftlich beantwortet, während sie ein Fotosyntheseexperiment live beobachten konnten.

### WAS IST FOTOSYNTHESE? WAS IST ZELLATMUNG?

B1:

Fotosynthese:  $6 \text{ H}_2\text{O} + 6 \text{ CO}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$

Bei der Fotosynthese wird aus Wasser und  $\text{CO}_2$  Glucose und Sauerstoff hergestellt - dies geschieht in den Chloroplasten. Die Fotosynthese kann daher nur in pflanzlichen Zellen geschehen und trägt dazu bei, dass der  $\text{CO}_2$ , der produziert wird (natürlich und durch den Mensch) gebunden und umgewandelt wird in Sauerstoff und Glucose, welche Lebewesen sowie Pflanzen benötigen. Die Fotosynthese benötigt Licht, um ablaufen zu können. Glucose und Sauerstoff wird in der Zellatmung als Edukte gebraucht.

--> Fotosynthese in der pflanzlichen Zelle: Lichtreaktion / Zellatmung in der pflanzlichen Zelle: Dunkelreaktion

Zellatmung:  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2 \rightarrow 6 \text{ H}_2\text{O} + 6 \text{ CO}_2$

Die Zellatmung nutzt die Produkte der Photosynthese und wandelt diese wieder in Wasser und  $\text{CO}_2$  um - dies geschieht in den Mitochondrien einer jeder Zelle. Bei der Zellatmung entsteht ATP (Adenin-Triphosphat), welches die Zellen brauchen, um zu "funktionieren". Aus den Mitochondrien wird sämtliche Energie "hergestellt" und ausgeliefert, die der Körper / Pflanze zum Leben braucht. Auch Pflanzen können (und müssen) Zellatmung betreiben. Sie sind sowohl Produzenten als auch Konsumenten, wohingegen der Mensch und alle weiteren Lebewesen nur Zellatmung betreiben können.

Zellatmung und Photosynthese bilden einen "Kreislauf". Die Produkte eines bilden die Edukte des anderen Vorgangs.

B2:

Bei der Fotosynthese wird durch den Einfluss von Licht das  $\text{CO}_2$  (welches die Pflanze aus der Umgebungsluft aufnimmt) und  $\text{H}_2\text{O}$  in Traubenzucker umgewandelt. Für diesen Vorgang wird die Energieform Adenintriphosphat genutzt. Dieser Vorgang läuft während dem Tag ab. Während der Nacht gibt es kein Sonnenlicht, es läuft der Vorgang der Zellatmung ab. In diesem Vorgang entsteht in den Zellen der Pflanzen Sauerstoff. Der Sauerstoff wird an die Umgebungsluft abgegeben.

B3:

Die Fotosynthese ist ein Prozess, welcher in Pflanzen abläuft, sofern gewisse Voraussetzungen erfüllt werden. Bei der Fotosynthese wird  $\text{CO}_2$ , welches die Pflanze aus der Luft aufnimmt zu Sauerstoff und Traubenzucker umgewandelt. Ausserdem entsteht bei diesem Prozess das Blattgrün Chlorophyll.

### BESCHREIBE DEIN ERLEBNIS MIT DEN DYNAMISCHEN ECHTZEITDATEN. WAS HAT DICH ÜBERRASCHT? WAS WAR NEU FÜR DICH?

B1:

- dynamischen Entwicklung zu verfolgen ist interessanter als erwartet, da man in Echtzeit verfolgen kann, was "unsichtbar" geschieht.
- dynamische Daten widersprechen der Erwartung von dem, was passiert, wenn eine Pflanze Licht erhält --> die Photosynthese braucht eine Anlaufzeit.
- Deutlich zu sehen, wie die Skala des Graphes zu unterschiedlicher Interpretation des gleichen Phänomens führen kann.
- Versuch von Anfang bis Ende zu verfolgen, gibt einen ganz anderen Blick auf die Photosynthese, den man sieht, was "vor" der Photosynthese alles noch geschehen muss, bis diese "startet".
- Dynamische Daten weitläufig dazu, bereits während dem Verlauf des Versuchs zu analysieren / interpretieren, was geschieht, obschon der Versuch noch nicht abgeschlossen ist beziehungsweise die Daten weder vollständig noch interpretierbar sind.

B2:

Dadurch, dass es in Echtzeit aktualisiert wird, wird eine gewisse Spannung aufgebaut. Man wartet darauf, was in den nächsten Minuten passiert. Gerade die Tatsache, dass vor Beginn des Experiments eine gewisse Erwartungshaltung da ist, wie das Experiment abläuft. Wird diese Erwartungshaltung nicht bestätigt, werden Vorkenntnisse in Frage gestellt. Die Spannung steigt dadurch erneut. Werden die eigenen Erwartungen nach gewisser Zeit bestätigt, wirkt das Beruhigend. Die Freude steigt darüber, dass die eigenen Voreinstellungen bestätigt.

Es hat mich erstaunt, wie "schnell" sich der  $\text{CO}_2$  Gehalt durch eine Pflanze verändert! Es ist auch spannend zu betrachten, wie durch den Einsatz der Pumpe, der Graph sofort reagiert. Dies macht den Versuch greifbarer.

B3:

Es hat mich überrascht, dass der CO<sub>2</sub>-Wert auf einmal gestiegen ist. Man ist umso mehr gespannt, ob die Erwartungen noch erfüllt werden. CO<sub>2</sub>-Wert sinkt nun, man ist gespannt, ob dies so bleibt. Spannung ist nicht mehr so gross, da nun passiert, was ich erwartet habe. Auf Einmal sinkt die Kurve extrem viel schneller. Ich finde es überraschend, wie spannend es ist den Graphen zu verfolgen. Es ist faszinierend, dass die Kurve nun stark unter den Anfangswert sinkt. Die Spannung steigt wieder, bis zu welchem Punkt wird die Kurve tatsächlich sinken? Stagniert sie dann?

Es ist spannend zu sehen, wie sich der Graph verändert, wenn sich die Einflüsse verändern. Beispielsweise das starke Ansteigen des CO<sub>2</sub>-Werts, sobald die Pumpe eingestellt wird. Wie der Graph etwas weniger extrem steigt, sobald die Pumpe ausgestellt wird und dann relativ schnell wieder sinkt.

**WIE UNTERSCHIEDET SICH DIESES ERLEBNIS VON STATISCHEN GRAPHEN?**

B1:

Graphen zu analysieren ist super :D Bei statischen Graphen sowie bei dynamischen Daten lassen sich viele Erkenntnisse sammeln und vergleichen. Bei statischen Daten ist der Versuch und die Interpretation zeitlich getrennt (oder es gibt gar keinen Versuch, sondern nur eine Interpretation). Statische Daten nimmt man einfach hin, während man bei dynamischen Daten den direkten Bezug beobachten kann.

B2:

Bei einem dynamischen Graphen werden eigene Voreinstellungen und Erwartungen ständig angepasst. Wird ein statischer Graph gezeigt, werden von Beginn weg alle Daten gezeigt. Dadurch ist der Spannungsaufbau gering. Man betrachtet den Graphen in seiner "Gesamtheit" und wird dadurch weniger Überrascht.

B3:

Es ist spannender die Entwicklungen der dynamischen Daten zu verfolgen. Man ist gespannt darauf, ob passiert was man erwartet. Bei einem statischen Graphen muss die ganze Interpretation auf ein Mal gemacht werden, es ist schwieriger nachzuvollziehen, warum die Veränderungen passieren.

**SCHAU DAS VERSUCHSPROTOKOLL UND DEN GRAPHEN AN. INTERPRETIERE DEN GRAPHEN.**

Versuchsprotokoll zum Versuch «Fotosyntheseaktivität» vom 18. September 2022

Aktion	Uhrzeit	Pumpe	Licht	Bemerkung
1	17:20 Uhr	Ein	Ein	Start Versuch
2	17:30 Uhr	Aus		
3	18:14 Uhr	Ein		CO <sub>2</sub> -Konzentration = 200 ppm: Pumpe wird eingeschaltet
4	18:19 Uhr	Aus		Pumpe wird nach 5 min ausgeschaltet
5	18:31 Uhr	Ein		CO <sub>2</sub> -Konzentration = 200 ppm: Pumpe wird eingeschaltet
6	18:36 Uhr	Aus		Pumpe wird nach 5 min ausgeschaltet
7	18:44 Uhr		Aus	CO <sub>2</sub> -Konzentration = 250 ppm: Licht wird ausgeschaltet
8	19:55 Uhr		Ein	CO <sub>2</sub> -Konzentration = 550 ppm: Licht wird eingeschaltet
9	20:37 Uhr	Ein		CO <sub>2</sub> -Konzentration = 200 ppm: Pumpe wird eingeschaltet
10	20:42 Uhr	Aus		Pumpe wird nach 5 min ausgeschaltet
11	20:56 Uhr	Ein		CO <sub>2</sub> -Konzentration = 200 ppm: Pumpe wird eingeschaltet
12	21:06 Uhr	Aus	Aus	Ende Versuch

Graph zum Versuch «Fotosyntheseaktivität» vom 18. September 2022

B1:

Beschreibung

(1) Der Versuch zur Fotosyntheseaktion wurde um 17:20 Uhr gestartet, in dem sowohl die Pumpe als auch das Licht eingeschaltet wurde. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration bleibt in dieser Phase konstant. (2) Zehn Minuten später wurde die Pumpe ausgeschaltet. In den nachfolgenden zirka zehn Minuten bleibt die CO<sub>2</sub>-Konzentration weiterhin konstant, bevor sie langsam beginnt zu sinken. Nach etwa 20 Minuten ist die CO<sub>2</sub>-Abnahme deutlich. (3) Bei einer CO<sub>2</sub>-Konzentration von 200 ppm wird die Pumpe eingeschaltet. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration steigt rasant an. (4) Nach fünf Minuten wird die Pumpe wieder ausgeschaltet. ...

Interpretation

Eine Pflanze ist in der Lage sowohl Zellatmung als auch Photosynthese zu betreiben. Beim Graph sieht man, dass der CO<sub>2</sub>-Wert anfangs zunimmt, da die Pflanze erst auf die Lichteinstrahlung reagieren muss / den Wechsel von der Zellatmung zur Photosynthese machen muss - ähnlich wie es beim Menschen mit der Energieverwertung bei intensivem Sport ist (anfangs startet man mit dem Zerfall von ATP, bevor nach etwas 2 Minuten dann die Energiegewinnung durch die Zellatmung einsetzt und erst nach etwa einer halben Stunde Energie durch Fettverbrennung erzeugt wird).

Mit dem Licht ist die Pflanze dann in der Lage CO<sub>2</sub> umzuwandeln, solange eine genügend grosse Konzentration von CO<sub>2</sub> vorhanden ist. Die Pumpe sorgt dafür, dass die Pflanze weiterhin arbeiten kann und nicht die Situation auftritt, dass die Pflanze keine Photosynthese betreiben kann / kein Leerlauf entsteht. Auch beim erneuten Wechsel von Zellatmung zur Photosynthese kann man den gleichen Sachverhalt beobachten -> die Pflanze benötigt Zeit um zwischen den beiden Mechanismen zu wechseln / Zeit in den Zellen, um neue Botenstoffe zu aktivieren und bis man dies auch von aussen beobachten kann.

B2:

Beschreibung

(1) Der Versuch zur Fotosyntheseaktion wurde um 17:20 Uhr gestartet, in dem sowohl die Pumpe als auch das Licht eingeschaltet wurde. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration bleibt in dieser Phase konstant. (2) Zehn Minuten später wurde die Pumpe ausgeschaltet. In den nachfolgenden zirka zehn Minuten bleibt die CO<sub>2</sub>-Konzentration weiterhin konstant, bevor sie langsam beginnt zu sinken. Nach etwa 20 Minuten ist die CO<sub>2</sub>-Abnahme deutlich. (3) Bei einer CO<sub>2</sub>-Konzentration von 200 ppm wird die Pumpe eingeschaltet. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration steigt rasant an. (4) Nach fünf Minuten wird die Pumpe wieder ausgeschaltet. ...

Interpretation

Das Einschalten der Pumpe führt dazu, dass Luft von aussen in den Behälter gelangt. Dadurch steigt in dieser Phase die CO<sub>2</sub> Konzentration. In der Phase in welcher die Pumpe ausgeschaltet wird, sinkt der CO<sub>2</sub> Gehalt deutlich. Wird davon ausgegangen, dass der Behälter geschlossen ist zeigt dies, dass die Pflanze in dieser Zeit CO<sub>2</sub> in sich aufnimmt. Dies entspricht dem Vorgang der Photosynthese.

Der CO<sub>2</sub> Gehalt steigt nicht nur, wenn Luft von aussen einströmt, sondern auch wenn das Licht ausgeschaltet wird. Somit muss in dieser Zeit davon ausgegangen werden, dass die Pflanze einerseits kein CO<sub>2</sub> mehr aufnimmt. Andererseits kann davon ausgegangen werden, dass die Pflanze sogar CO<sub>2</sub> ausstösst. Ausser in dem Fall, in welchem das Gefäss nicht vollständig geschlossen werden kann, in diesem Fall könnte der Anstieg des CO<sub>2</sub> Gehalts auch auf den geringen Zufluss der Luft von aussen begründet werden.

B3:

Beschreibung

(1) Der Versuch zur Fotosyntheseaktion wurde um 17:20 Uhr gestartet, in dem sowohl die Pumpe als auch das Licht eingeschaltet wurde. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration bleibt in dieser Phase konstant. (2) Zehn Minuten später wurde die Pumpe ausgeschaltet. In den nachfolgenden zirka zehn Minuten bleibt die CO<sub>2</sub>-Konzentration weiterhin konstant, bevor sie langsam beginnt zu sinken. Nach etwa 20 Minuten ist die CO<sub>2</sub>-Abnahme deutlich. (3) Bei einer CO<sub>2</sub>-Konzentration von 200 ppm wird die Pumpe eingeschaltet. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration steigt rasant an. (4) Nach fünf Minuten wird die Pumpe wieder ausgeschaltet. ...

Interpretation

Immer wenn die Pumpe eingestellt wird, steigt der CO<sub>2</sub>-Wert in kurzer Zeit sehr stark an. Wenn das Licht ausgestellt wird, steigt der Wert ebenfalls an aber viel langsamer, dies könnte damit zu tun haben, dass kein CO<sub>2</sub> durch die Pumpe «hinzugefügt» wird aber auch kein CO<sub>2</sub> mehr durch die Fotosynthese umgewandelt wird. Sobald das Licht wieder eingeschaltet wird, setzt die Fotosynthese wieder ein und der CO<sub>2</sub>-Wert nimmt wieder stetig ab.

Solange das Licht eingestellt ist, sinkt der CO<sub>2</sub>-Wert nach kurzem Einstellen der Pumpe und anschliessendem Ausstellen relativ schnell wieder.

### **SCHLAFEN PFLANZEN? WELCHE HINWEISE DAFÜR GIBT ES IN OBIGEM GRAPH?**

B1:

Schlaf beim Mensch ist ein Zustand, bei der das Bewusstsein auf Standby ist, der Körper aber weiterhin voll funktionsfähig ist und weiterhin seine Arbeit verrichtet. Auch Pflanzen können dies - wenn man annimmt, dass die Photosynthese den "Wachzustand" einer Pflanze darstellt. Zellatmung stellt in dieser Interpretation das Schlafen dar. Die Pflanze arbeitet nicht / produziert keine Glucose und Sauerstoff, sondern nutzt diese Stoffe in der Dunkelreaktion, um sich selbst zu erhalten, bevor sie dann in der Lichtreaktion wieder aufwacht und seiner Arbeit nachgeht.

B2:

Ich denke, der Graph zeigt deutlich, dass eine Pflanze zwei "Tagesphasen" hat. In der einen Phase ist sie aktiv und CO<sub>2</sub> wird umgewandelt. In der anderen Phase zeigt sich eine Pause von der CO<sub>2</sub> Umwandlung. Wird somit alleine der CO<sub>2</sub> Wert angeschaut, könnte man bei der Nachtphase einer Pflanze von Schlaf sprechen. (Je nachdem, wie Schlaf definiert wird)

B3:

Ein Hinweis dafür wäre, dass der CO<sub>2</sub>-Wert zu Beginn gestiegen ist und die Pflanze zuerst «aufwachen» musste, bevor die von mir erwartete Reaktion eintrat. Es muss zuerst eine gewisse Menge Licht oder ein gewisser Zeitraum unter Lichteinfluss vergehen, bis die Fotosynthese einsetzte.

**SCHAU DEINE ANTWORT AUS FRAGE 1 AN. WIE HAT SICH DEIN VERSTÄNDNIS FÜR DIE FOTOSYNTHESE DURCH DIE DYNAMISCHEN DATEN VERÄNDERT?**

B1:

Verständnis für die Photosynthese und Zellatmung hat sich nicht verändert, aber neue Erkenntnisse haben das bestehende Wissen ergänzt. Es war klar, dass eine Pflanze sowohl Zellatmung als auch Photosynthese betreibt, dennoch war es überraschend, dass der Wechsel zwischen diesen einiges an Zeit benötigt und nicht direkt geschieht (wie man sich das beispielsweise mit dem Umliegen eines Schalters vorstellt).

Durch den Versuch mit den dynamischen Daten sieht man eher eine externe Ansicht der Photosynthese / Zellatmung, während man sich meistens beim Einlesen / lernen des Themas auf die inneren Vorgänge fokussiert. Eine Angabe mit Zahlenwerten (ppm) hilft, die Dimension der Photosynthese besser einzuschätzen.

B2:

Ich denke, dass sich das Verständnis nicht grundlegend verändert hat. Bereits im Vorhinein war für mich klar, dass die Pflanze in der Nacht keine Photosynthese macht. Dadurch haben sich eher meine Erwartungen bestätigt. Jedoch kann man von einem tieferen Verständnis sprechen. Durch den dynamischen Graphen wurde das Vorwissen konkret dargestellt. Dies hilft für die Vorstellung von bereits "gelerntem" Wissen.

B3:

Ich bin bisher davon ausgegangen, dass die Photosynthese sofort einsetzt, sobald der Faktor Licht hinzugefügt wird.

**ÜBERLEGE DIR, WELCHE WEITEREN EXPERIMENTE MIT DIESEM VERSUCHSAUFBAU GEMACHT WERDEN KÖNNTEN?**

B1:

- Einfluss verschiedener Bodentypen
- Einfluss Licht (Strassenlampen, künstliches Licht, direkte Sonneneinstrahlung, indirekte Sonneneinstrahlung)
- Einfluss reflektierender Stoffe auf die Umsatzrate der Photosynthese
- Einfluss des Albedo-Effekts auf eine Pflanze
- optimale Menge an CO<sub>2</sub>-Zufuhr durch die Pumpe

B2:

- Wird die Einrichtung an verschiedenen Orten platziert (Stadtzentrum, neben einer Strasse, Büro etc) könnte betrachtet werden, wie sich die Pflanze dort verhält.
- Einfluss von künstlichem Licht auf Pflanzen (zB. durch Strassenbeleuchtung). Wie werden Pflanzen von der "menschlichen" Umwelt beeinflusst.

B3:

Gute Frage, keine Idee 😊

**IN WELCHEN WEITEREN GEBIETEN AUSSERHALB DER FOTOSYNTHESE KÖNNTE MAN DYNAMISCHE DATEN ZUR VERSTÄNDNISGEWINNUNG NUTZEN?**

B1:

- Dynamische Daten eignen sich überall, wo man eine Entwicklung / den Verlauf eines Wertes beobachten muss --> Gasentwicklung, Temperatur, Ozon, ...
- Dynamische Daten werden schon an vielen Orten genutzt, auch wenn man sich dies nicht wirklich bewusst ist --> Verbrauch von Treibstoff, Kursentwicklung Aktien / Währungen, ...

B2:

Methanausstoß im Kuhstall

B3:

Gute Frage, keine Idee 😊

**WIE SCHÄTZT DU DAS POTENZIAL DYNAMISCHER DATEN FÜR DEN EINSATZ IM UNTER-  
RICHT EIN? GEHE DAVON AUS, DASS DIE PROGRAMMIERUNG VOLL ZUGÄNGLICH IST.**

B1:

Ich empfinde den Einsatz von dynamischen Daten im Unterricht als grundsätzlich etwas sinnvolles, jedoch sehe ich einige Herausforderungen / Probleme. Dynamische Daten erlauben es, sowohl zu beobachten als auch aktiv mitzudenken, wieso dies nun geschieht, da man auf die Daten achten muss und der Fokus auf diesen liegt. Bei Schüler und Schülerinnen sehe ich jedoch das Problem, dass sie eine sehr kleine Aufmerksamkeitsspanne besitzen und schnell abgelenkt oder gelangweilt sind, wenn nichts "passiert".

B2:

Ich empfinde den Einsatz an dynamischen Daten für den Unterricht sehr wertvoll. Dadurch können gewisse Begebenheiten direkt vor Augen geführt werden. Gleichzeitig sehe ich die Gefahr, dass die SuS durch Grafiken im Allgemeinen "abgeschreckt" werden. Zudem haben SuS teilweise nicht die Geduld, sich die Vorgänge über einen gewissen Zeitraum anzuschauen. Wird während dem Versuch etwas anderes betrachtet, haben die SuS schlussendlich einen ähnlichen Effekt, wie wenn ich zwei statische Graphen gezeigt bekommen. (Dies muss bei der Durchführung sinnvoll umgesetzt und angeschaut werden.)

B3:

Ich denke, dass die dynamischen Daten grundsätzlich interessant wären. Die SuS haben aber sicher nicht genügend Geduld den Graphen so lange zu beobachten und man müsste andere Tätigkeiten in der Zwischenzeit erledigen. Durch das Erledigen anderer Aufgaben, fehlt aber ein essenzieller Teil, welcher den Sinn der dynamischen Daten ausmacht. Die Auswertung des Graphen zu verschiedenen Zeitpunkten ist wieder sehr nahe an der Auswertung eines statischen Graphen, da die Veränderung nicht beobachtet wird.